Modernas Aplicações de Vidros

Oswaldo Luiz Alves

LQES - Laboratório de Química do Estado Sólido
Instituto de Química, UNICAMP, CP 6154, Campinas, SP, Brasil.
oalves@iqm.unicamp.br

1. AVANT-PROPOS

Esta publicação vem na seqüência do texto intitulado *"Vidros",* publicado nos Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola – Química dos Novos Materiais (Figura 1 e 2), da lavra deste autor, juntamente com Iara de Fátima Gimenez e Italo Odone Mazali [1]. Tais Cadernos foram à concretização de um esforço da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), no sentido de contribuir para a atualização e fornecer subsídios, não só ao professor de ensino médio e fundamental, mas também ao futuro professor, quando da abordagem, em sala de aula, de diferentes temas associados a materiais.

Figura 1. Capa do Caderno Temático de Química Nova na Escola, que enfocou os Novos Materiais [2].

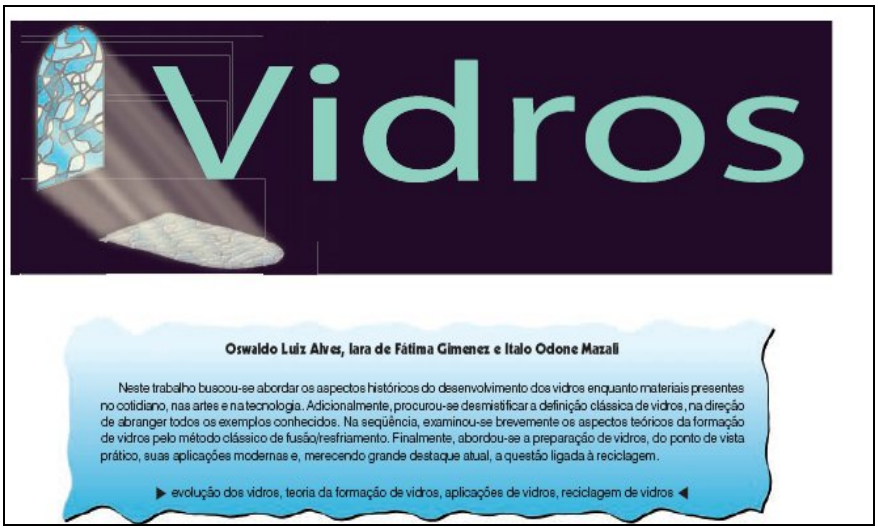

Figura 2. Box da primeira página do Artigo "Vidros", publicado nos Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola [3].

Assim, o presente material visa completar e atualizar o texto referido procurando, sobretudo, avançar no aspecto das aplicações modernas dos vidros e apontar para o enorme potencial desta classe de materiais.

2. APLICAÇÕES

Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento da área de vidros tem sido especialmente marcado por sua aplicação nos mais diferentes campos da atividade humana. O vidro continua sendo um material que - à cada necessidade tecnológica -, comparece, aportando sempre uma alternativa importante a ser considerada.

Os desenvolvimentos e as modernas aplicações dos vidros passam por:

2.1. VIDROS OFTÁLMICOS

Um desenvolvimento interessante dentro do uso de vidros oftálmicos foram as lentes produzidas com vidros fotocromáticos, cujas cores variam com a intensidade da luz e se adaptam às diferentes situações de iluminação (Figura 3). Trata-se de uma propriedade reversível, cujas características de transmissão oscilam entre dois estados extremos: o estado mais claro, dito "não ativo", e aquele mais escuro, dito "ativo".

Do ponto de vista químico, o fotocromismo é uma transformação reversível entre dois estados, que confere ao vidro propriedades de transmissão e cores diferentes. Na verdade, funciona da seguinte maneira: os raios ultravioletas fornecem energia necessária para que

ocorra uma transformação química, a qual, por sua vez, provoca o "escurecimento" do vidro e o calor ambiente induz o retorno ao "estado claro" inicial [4].

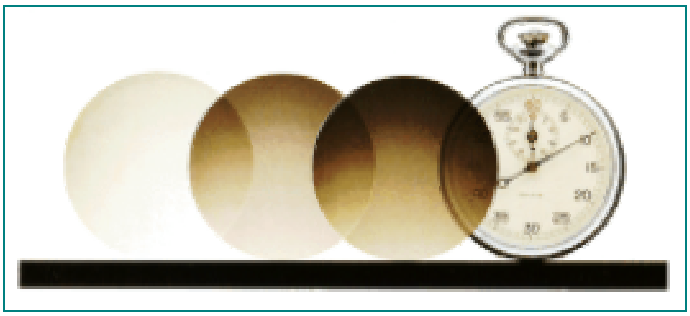

Figura 3. Lentes fotocromáticas, de última geração, mostrando o efeito de escurecimento/ estado claro [5].

2.2. VIDROS ÓPTICOS ESPECIAIS DESTINADOS À PROTEÇÃO NUCLEAR

Destinam-se a bloquear a radiação, sendo, portanto, resistentes a ela. São desenvolvidos especificamente para atuarem em tecnologia nuclear, e são utilizados especialmente como janelas para as chamadas *hot cells* - câmaras de manipulação de material radioativo (Figura 4 e 5). A grande maioria destes vidros contém chumbo em sua composição e muda de coloração quando irradiada com radiações beta (β) ou gama (γ). Para se evitar tais mudanças de coloração, geralmente se utiliza óxido de cério IV (CeO_2) em suas composições.

Figura 4. Óculos usados em situações onde há emissão de radiação [6,7].

Figura 5. Vidros especiais, usados em instalações nucleares, para proteção contra radiação [8].

Os vidros à base de chumbo também têm sido bastante usados em pesquisa, sobretudo na detecção e determinação da energia de partículas subatômicas de alta velocidade: elétrons, pósitrons, raios cósmicos, etc. Muitos deles são também utilizados em dosímetros para radiação γ [9].

2.3. FIBRAS DE VIDRO

Cobrindo um amplo contexto de aplicações, as fibras de vidro - com diâmetros que vão de 0,1 a 0,001 mm -, merecem especial atenção. Estes materiais vítreos podem ser usados como fibras de vidro isolantes *fiberglass*, utilizadas em construção, visando ao isolamento térmico e acústico; fibras de vidros têxteis, tais como a "seda de vidro" - tecido obtido pela mistura das fibras com politetrafluoroetileno -, resistentes ao calor, a produtos químicos agressivos, e apresentando, ainda, elevada resistência mecânica e elétrica, sendo também não inflamáveis (figura 6); fibras de vidro para reforço de plásticos. Não podem deixar de ser mencionados os vidros reforçados com fibras de vidro, ou seja, compósitos vidro-vidro, de resistência mecânica próxima à do aço, com a vantagem de apresentar peso consideravelmente menor. Trata-se de compósitos de alta estabilidade térmica frente ao *stress* térmico, o que os habilita para utilização na indústria aeronáutica.

Figura 6. "Seda de Vidro" (*Glass Silk*) isolante [10].

Na Tabela 1 são apresentadas várias outras aplicações das fibras de vidro dentro dos mais diferentes contextos [11].

Tabela 1. Aplicações de Fibras de Vidro.

- **Fibras de vidro no reforço e na recuperação de vigas de madeira**
- **Tecidos plásticos reforçados**
- **Tubulações, tanques ou equipamentos em processos corrosivos**
- **Material de reforço utilizado juntamente com resinas**
- **Compósitos para a indústria aeronáutica**
- **Meios filtrantes/filtros tipo manta**
- **Material de reforço para cimentos e produção de chapas cimentícias reforçadas**
- **Granulados termoplásticos reforçados**
- **Compósitos ou plásticos reforçados**
- **Fabricação de cascos de barcos, aeronaves, carrocerias e carenagens**
- **Pré-moldados de gesso**
- **Membranas de fibra de vidro de alta performance**
- **Isolamento térmico de tubulações**
- **Fabricação de compósitos para aplicação em indústria automotiva em geral**

Pode-se notar que as aplicações de fibras de vidro são as mais variadas, com presença nos mais diversos setores industriais.

2.4. FIBRAS ÓPTICAS

Dentre as inúmeras aplicações das fibras de vidro, merecem especial destaque as fibras ópticas: sistemas capazes de propagar a luz. São, basicamente, fibras coaxiais (casca e núcleo), fabricadas com vidros de diferentes índices de refração. Hoje em dia, as fibras ópticas para comunicações acompanham o traçado das principais rodovias do país (Figura 7).

Figura 7. Cabo de fibras ópticas usado em comunicações [12,13].

Nos sistemas de telecomunicações convencionais, os impulsos da estação de transmissão são convertidos, via dispositivos semicondutores (lasers que operam na região do infravermelho), em sinais luminosos e transmitidos por grandes distâncias, sem amplificação intermediária. No ponto de recebimento, fotodiodos e amplificadores novamente transformam a luz em sinal eletrônico, o qual pode, então, ser processado.

Alta capacidade de transmissão, uso de pouco espaço e total insensibilidade à interferência eletromagnética fazem com que as fibras ópticas comerciais sejam ideais para as comunicações modernas. Alguns sistemas já começam a operar com chaveamento totalmente *all light*, através de amplificadores ópticos, praticamente deixando de lado as interconversões fóton/elétron. Fibras ópticas dopadas, ou co-dopadas com íons de terras-raras (lantanídeos) Európio (Eu^{3+}), Érbio (Er^{3+}), Praseodímio (Pr^{3+}), entre outros, têm sido utilizadas na confecção de fibras ópticas para Internet de banda larga e amplificadores ópticos à fibra.

Na Tabela 2, listamos empregos das fibras ópticas, em vários campos.

Tabela 2. Aplicações de Fibras Ópticas.

- **Transmissão (dados, áudio e som)**
- **Procedimentos e instrumentação médica (endoscopia)**
- **Acionamento de sistemas de detecção de microfraturas**
- **Óptica integrada (amplificadores ópticos à fibra e guias de onda)**
- **Redes de comunicação**
- **Tecnologia para sensores rápidos e amplificadores (fibras fotônicas)**
- **Equipamentos de iluminação**
- **Sistemas de potência**
- **Cabos submarinos transoceânicos**
- **Equipamentos cirúrgicos e cateteres**

2.5. VITROCERÂMICAS

Não obstante às já comentadas, as aplicações contemporâneas dos vidros não param por aí, tendo muito horizonte pela frente.

As vitrocerâmicas, por exemplo, são fabricadas através de tratamentos térmicos especiais de vidros contendo composições particulares. Tais tratamentos acabam por permitir a formação de uma dispersão uniforme de cristais no vidro.

Outra característica notável das vitrocerâmicas é o fato de apresentarem propriedades sobremodo superiores às dos vidros que lhes deram origem: resistência ao impacto, baixa reatividade química, baixos coeficientes de expansão térmica, além de uma gama de propriedades ópticas, que vão desde a transparência, passando pelo opaco e indo até o branco, como resultado do espalhamento de luz pelos cristais [14].

A coexistência de fases vítreas e cerâmicas num mesmo material descortina um conjunto muito grande de aplicações: substratos para espelhos de grandes telescópios; produção de peças trabalhadas por corrosão de altíssima precisão, que levam à fabricação de placas perfuradas para monitores; utensílios de cozinha (Figura 8) - são alguns dos exemplos.

Figura 8. Fogão contendo placa de vitrocerâmica. As regiões vermelhas são aquelas nas quais se tem aquecimento, ou seja, onde são colocadas as panelas quando o fogão é utilizado [15].

Além das já mencionadas, na Tabela 3 são apresentadas outras interessantes aplicações das vitrocerâmicas.

Tabela 3. Aplicações de Vitrocerâmicas.

- **Aplicações em sensores**
- **Vitrocerâmicas aplicadas à odontologia e ortopedia (prótese)**
- **Utensílios de cozinha (panelas, etc.)**
- **Meio Ambiente – vitrocerâmicas de escórias siderúrgicas**
- **Utensílios com revestimentos antiaderentes**
- **Vitrocerâmicas sinterizadas para pavimentação**
- **Vitrocerâmicas ópticas**
- **Vitrocerâmicas com coeficiente de expansão térmica zero**
- **Vitrocerâmicas para aplicação em micromecânica**
- **Vitrocerâmicas para aplicação em fotônica e microeletrônica**
- **Materiais biocerâmicos multicomponentes**
- **Aplicações em arquitetura e construção civil**

2.6. VIDROS POROSOS

Famílias de vidros contendo poros abertos e membranas capilares (Figura 9) foram recentemente desenvolvidas, através de processos de sinterização ou lixiviação, muito bem

controlados. Tais materiais, semelhantes à "esponjas de vidro", dada sua elevada durabilidade química (resistência a agentes químicos agressivos) e mecânica (resistência à quebra), têm sido cogitados para estocar e transportar, com segurança, fluidos tóxicos.

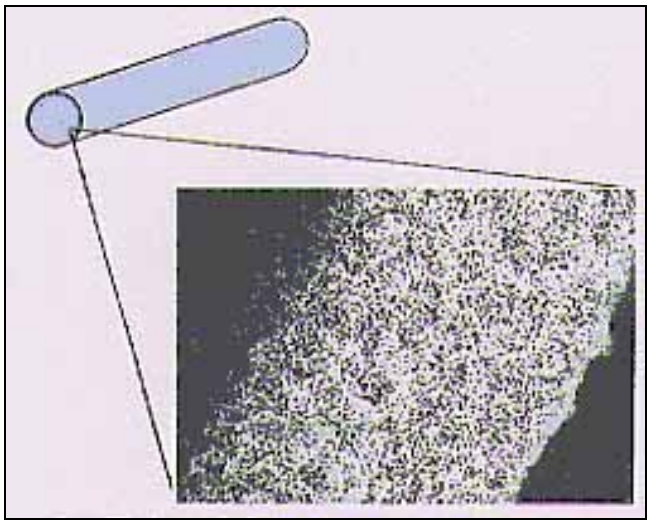

Figura 9. Estrutura de um Vidro Poroso [16,17].

Na Tabela 4 são apresentadas outras aplicações, características de vidros porosos.

Tabela 4. Aplicações de Vidros Porosos.

- Separação de gases e líquidos, filtros
- Microfluídica
- Sensores, detectores
- Biomateriais porosos para aplicação em crescimento de ossos
- Barreiras para difusão de fluidos
- Carregadores para dispositivos biomédicos
- Cargas inovadoras para odontologia
- Bioseparação
- Suportes para recobrimento usando sol-gel
- Suportes para síntese
- Sistemas de separação para proteômica
- Purificação de anticorpos monoclonais e pequenas entidades
- Produção de emulsões
- Aplicações em oftalmologia
- Veículos para terapia gênica
- Imobilização de enzimas
- Síntese de DNA

Espera-se ainda que, no caso das membranas, estas venham a ser largamente utilizadas em instalações de dessalinização da água do mar ou em aplicações médicas, dentre elas no tratamento e purificação de sangue e no caso dos rins artificiais.

3. NOVAS FAMÍLIAS DE VIDRO

Do ponto de vista das novas famílias de vidro, ou seja, quando saímos do universo dos vidros borosilicatos, aluminatos e fosfatos, certamente o destaque fica para os vidros contendo os elementos denominados calcogênios: S (Enxofre), Se (Selênio) e Te (Telúrio). Vidros que incluem tais elementos estão sendo intensivamente estudados, dada à grande potencialidade de aplicações, que vão desde a fabricação de sensores especiais para controle da poluição ambiental, até sofisticados dispositivos para fotônica e comunicações ópticas. Grande parte de suas aplicações vem do fato destes vidros, conhecidos como vidros calcogenetos (Figura 10), terem a propriedade de interagir tanto com fótons quanto com elétrons.

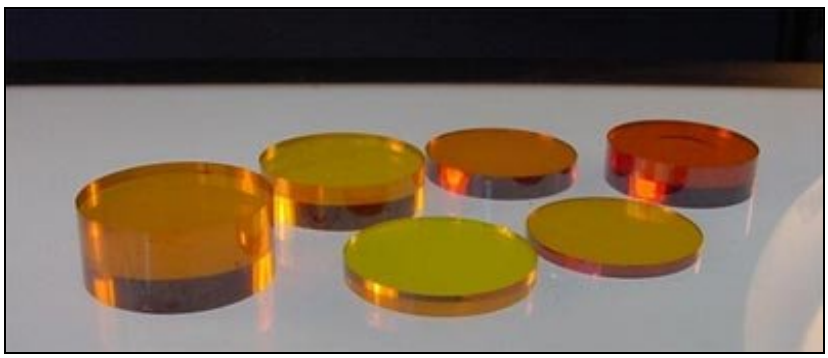

Figura 10. Vidros calcogenetos [18].

Uma das mais importantes características dos vidros calcogenetos é sua faixa de transmissão, que se estende a comprimentos de onda além das faixas dos vidros de sílica e outros. A combinação de propriedades passivas e ativas torna essa família de vidros única no campo dos materiais ópticos e eletrônicos [19]. Uma derivação importante das composições envolvendo os elementos S, Se, Te é a dos vidros dopados com *quantum-dots,* da família II (Cd, Pb) –VI (S, Se, Te), obtidos no interior das matrizes vítreas, durante o processo de fusão/resfriamento, seguido de tratamentos térmicos especiais [20]. Na Tabela 5 são apresentadas algumas das aplicações (já existentes, ou em potencial) para os vidros calcogenetos.

Tabela 5. Aplicações dos Vidros Calcogenetos.

- **Fibras ópticas especiais**
- **Filmes finos para aplicações em fotônica**
- **Sistemas integrados à base de chaveamento "totalmente óptico"**
- **Armazenagem de dados através de mudança de fase**
- **Sensores químicos para monitoramento e controle ambientais**
- **Óptica não-linear**
- **Filmes para guias de onda ópticos, moduladores e dispositivos de chaveamento**
- **Aplicações em astronomia**
- **Chaveamento óptico ultra-rápido**
- **Sistemas com efeito de fotoenegrecimento (*photo darkening*)**
- **Sistemas holográficos**
- **Sistemas para *air-bags* automotivos**
- **Materiais compósitos para aplicações aeroespaciais**
- **Dispositivos a fibra para detecção de poluentes**
- **Eletrólitos para baterias de estado sólido**
- **Memórias**

---

4. O FUTURO PRESENTE

A utilização de todo o substrato histórico e teórico-experimental acumulados sobre os vidros, somada à intensidade e nível de pesquisa mundial em curso, tanto abordando aspectos científicos quanto tecnológicos, permitem uma avaliação positiva quanto à evolução de seus futuros desenvolvimentos e aplicações. A versatilidade composicional - uma das importantes características deste material -, aliada a novos processos de fabricação (inclusive menos consumidores de energia), aponta para um fato inquestionável: suas propriedades, intrínsecas ou associadas a outros materiais, estão longe de ser esgotadas.

Atualmente são comuns edifícios que utilizam janelas inteligentes (*smart windows*), que controlam não só a luminosidade, mas também a temperatura das salas de enormes prédios comerciais (Figura 11).

Figura 11. *Smart Windows* utilizada em edifícios [21].

As janelas inteligentes ou janelas eletrocrômicas usam a eletricidade para mudar de cor. São constituídas, por exemplo, de uma placa de vidro, na qual foi depositado um filme fino de óxido de tungstênio (WO_3) que atua como uma bateria. O óxido de tungstênio é claro quando uma carga elétrica é aplicada e, escuro, quando a carga é removida. Assim, a aplicação da voltagem determina se a janela será clara ou escura. Um aspecto interessante que torna a janela "inteligente" é que a mesma conta com uma espécie de "memória". Assim, uma pequena variação de voltagem já é suficiente para que esta passe de um estado para outro. As transições têm lugar entre 10 segundos e alguns minutos, dependendo do tipo de janela [22].

Têm sido descritas nas novas aplicações dos vidros as chamadas nanocargas (*nanofillers*) ou *milled glass* (vidros moídos com partículas em escala nanométrica) para as mais variadas aplicações, na odontologia, por exemplo. Novas formulações de vidros com índices de refração e radiopaticidade adequadas (quando na forma de pós nanométricos) têm sido usadas para a elaboração de nanocompósitos com resinas curáveis com radiação ultravioleta, dando origem a novos materiais para a restauração dentária. Tais materiais atendem, de uma só vez, requisitos funcionais, de performance, durabilidade e estéticos. Veja maiores detalhes na referência [23].

Não poderíamos deixar de destacar, ainda, vidros destinados à construção civil, que não riscam e são autolimpantes (Figura 12), graças à presença de filmes nanoestruturados, depositados em sua superfície. Tais vidros têm um revestimento quimicamente ligado à superfície, o qual é concebido para absorver a luz ultravioleta proveniente do sol. O processo

de absorção da radiação causa, nessa superfície, uma reação que "fratura" e solta a sujeira. Assim, quando chove, o revestimento propicia que a água da chuva escorra pela superfície do vidro, não somente levando as partículas soltas de sujeira, como também prevenindo a formação de gotículas formadoras das raias que dão ao vidro um aspecto de "vidro sujo" [24].

Figura 12. Comerciais da indústria inglesa Pilkington que fazem a divulgação dos vidros autolimpantes para residências [25].

Trata-se de uma aplicação dos vidros que vem mostrar, mais uma vez, a feliz combinação com áreas de fronteira da pesquisa científica e tecnológica, neste caso, a nanotecnologia [26].

Dentre as aplicações futuras (presentes) das fibras figuram, com destaque, as fibras fotônicas, conhecidas como PCFs (do inglês *Photonic Crystal Fibers*). O desenvolvimento das mesmas foi estimulado em grande parte pela previsão da existência de uma banda fotônica proibida *(photonic bandgap)*, à semelhança da banda eletrônica proibida (*electronic bandgap*), encontrada nos semicondutores. Num primeiro momento, considerava-se que o mecanismo de guiamento da luz nestas fibras se dava somente devido à presença da banda fotônica proibida; posteriormente, os pesquisadores descobriram que, criando microestruturas e incluindo orifícios vazios na fibra, tais dispositivos poderiam

apresentar características absolutamente revolucionárias, tendo como base o mais simples e convencional Princípio da Reflexão Interna.

Na Figura 13 tem-se um esquema ilustrativo de fibra fotônica típica, com estrutura 2D de seccão de corte, na qual a região central - constituída de sílica de alta pureza -, é circundada por uma região de revestimento que contém bolhas de ar. Tais bolhas diminuem, efetivamente, o índice de refração, criando assim uma fibra óptica de índice (de refração) do tipo degrau (*step-index optical fiber)*.

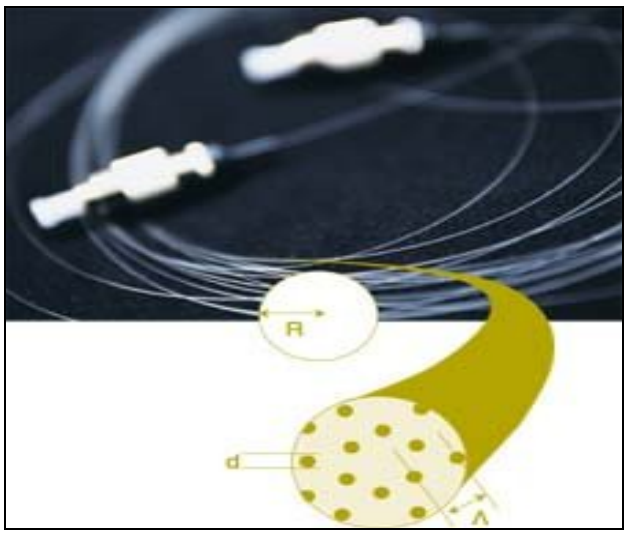

Figura 13 – Secção transversal (esquemática) de uma fibra fotônica, revelando a estrutura nanoestruturada, contendo bolhas de ar que correm paralelas ao eixo da fibra [27].

Os pesquisadores desta especialidade em questão consideram que tal tecnologia poderá ter impacto sobremaneira ímpar na inovação da área de sensores. Nessa direção, algumas propriedades importantes podem ser visualizadas. Pelo fato de ser oca, a fibra permite a sucção, para seu interior, de espécies químicas gasosas, líquidas ou em solução, o que torna possível a realização de análises espectroscópicas destas substâncias com elevada sensibilidade face à extensão em que se dá a interação com luz, ou seja: o grande aumento do caminho óptico. Tal situação abre a possibilidade de se determinar substâncias químicas em concentrações extremamente reduzidas (ppb), tirando-se partido, por exemplo, das propriedades de fluorescência [28].

Como vimos nas várias aplicações apresentadas nesta seção, a superfície do vidro tem sido usada rumo à criação de novas funcionalidades. Em muitos casos, para esse fim é utilizada a técnica de Deposição Química de Vapor, conhecida pelo acrônimo CDV, do inglês *Chemical Vapor Deposition*. A referida técnica é uma tecnologia de revestimento, realizada durante o processo de fabricação das placas de vidro. Trata-se de uma tecnologia de deposição ultra-rápida, adequada à grandes áreas. Através da mesma, um filme fino é

depositado sobre a superfície do vidro, usando a energia térmica necessária para a formação das placas. Um exemplo de aplicação de tal tecnologia é o substrato de vidro usado para filmes em células solares (Figura 14), cujos primeiros exemplos foram produzidos usando-se silício amorfo. Hoje, já é possível produzir celas solares [29], com desempenho incrementado pelo uso de filmes de óxido de estanho (um óxido transparente e condutor), depositados sobre placas de vidro.

Figura 14. Célula fotovoltaica de alta performance [29].

Espera-se que, com isso, a conversão fotoelétrica possa ser grandemente aumentada pelo decréscimo da absorção do filme e controle das características de sua superfície, a qual contribui para o confinamento óptico da luz incidente ("captura de luz").

Assim, como vimos, a técnica CVD *in situ* confere alta funcionalidade ao vidro, através de revestimentos de grandes áreas. Adicionalmente aos substratos de vidro para uso em células solares fotovoltaicas, a tecnologia descrita tem também sido aplicada, com sucesso, em vários produtos denominados "vidros funcionais" [30,31].

Efetivamente, a questão dos revestimentos funcionais tem se apresentado como uma grande fronteira para o desenvolvimento de novas e impressionantes aplicações dos vidros. Contudo, vale a pena abrir um parêntese para umas poucas considerações sobre as superfícies "virgens", modificadas pelo tempo e intempéries. Tal aspecto está bastante relacionado ao fato de ser o vidro, intrinsecamente, um material em nanoescala. Em condições ideais, a superfície de uma peça de vidro é, "do ponto de vista atômico, lisa e microestruturalmente livre". Assim, o desenvolvimento de defeitos químicos ou físicos na mesma será uma conseqüência quase natural. As inicialmente limpas superfícies do vidro podem se tornar contaminadas por substâncias orgânicas e/ou podem reagir com a umidade do ar [32]. Nesse contexto, fica claro que a preservação/conservação de obras de arte em vidro (vidros antigos) é extremamente importante, dependendo crucialmente do

entendimento dos efeitos de longo-prazo, causados pela umidade, poluição e radiação eletromagnética. Fechar parêntese!

Voltando-se aos revestimentos funcionais - nunca é demais afirmar que são aplicados em superfícies vítreas "novas"-, são utilizados os chamados agentes de acoplamento, à base de silanos (derivados organosilícicos), que permitem uma melhor adesão do vidro aos revestimentos orgânicos de interesse (tintas, plásticos ou compostos biológicos). Por se tratar de espécies moleculares, podem se ligar às chamadas "ligações erráticas" (*dangling bonds*), presentes na superfície do vidro, e reagir com os grupos funcionais da substância de revestimento [32].

Desenvolvimento bastante recente - que leva em consideração os diferentes aspectos levantados no parágrafo anterior -, diz respeito ao papel-chave atribuído ao vidro (especificamente sua superfície), no atual estágio de evolução da biologia molecular, visando à engenharia genética. Vidro na forma de pó para purificação de DNA, por exemplo, provê quase a totalidade do DNA isolado todos os dias, para cada um dos projetos genoma em desenvolvimento no mundo [32]. Por sua vez, os seqüenciadores de DNA utilizam microcapilares de vidro de sílica e colunas "empacotadas" de sílica para cromatografia. Muitos dos mais novos dispositivos que fazem uso da microfluídica para a genética, proteômica e descoberta de novas drogas são fabricados com substratos de vidro denominados "*lab-on-chip*" [33]. Na figura 15 é mostrado dispositivo *lab-on-chip,* feito de vidro e polímero.

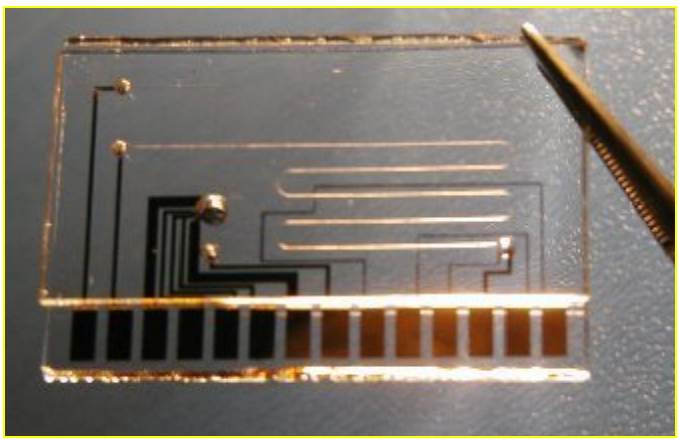

Figura 15. Fotografia de um *Lab-on-Chip* (Lab-num-Chip), feito de vidro e polímero, para análise de DNA [34].

Além dessas aplicações que, por si só, revelam a importância dos vidros para essa área de fronteira da pesquisa em biologia moderna, temos os "*microarrays* de DNA", também conhecidos como "*chips* de DNA" [35]. Os vidros utilizados para aplicações em dispositivos *lab-on-chip* têm que ter superfícies extremamente lisas e limpas, uma vez que as mesmas

precisam ser revestidas adequadamente para que possam prender as "manchas" de DNA à sua superfície. Na Figura 16 é mostrado o conceito envolvido num chip de DNA. Em tais dispositivos, a superfície do vidro é modificada com silanos (aminosilanos, por exemplo), que permitem a "imobilização" dos filamentos de DNA. Essa imobilização, por sua vez, não pode alterar nem o comportamento nem a funcionalidade do DNA, todavia precisa ser resistente à água e a outros reagentes bioquímicos, durante o processo de preparação e uso. Um esquema da imobilização de fitas de DNA numa superfície de vidro quimicamente modificado é apresentado na Figura 16.

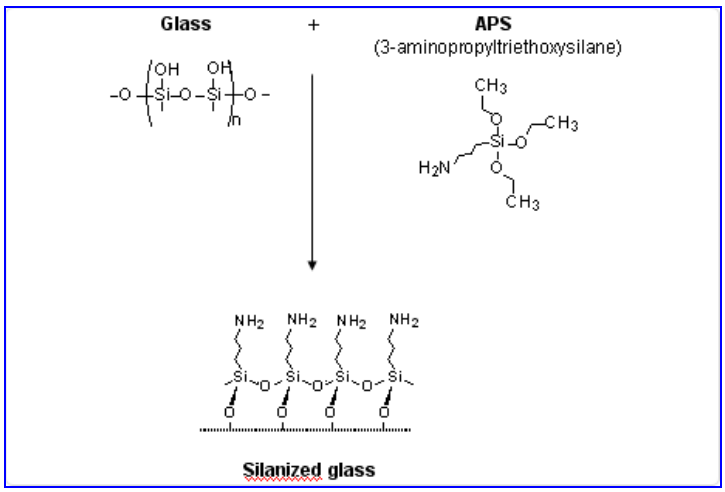

Figura 16. Superfície pronta para a imobilização do DNA, quimicamente modificada através do uso de um aminosilano [36].

Um ponto importante: pelo fato das superfícies de vidro estarem dirigidas para reagir com a água e de as biomoléculas - inclusive o DNA e proteínas -, preferirem ambientes hidratados, tem crescido o interesse pelo uso de vidros e revestimentos derivados, obtidos pelo processo sol-gel (Figura 17).

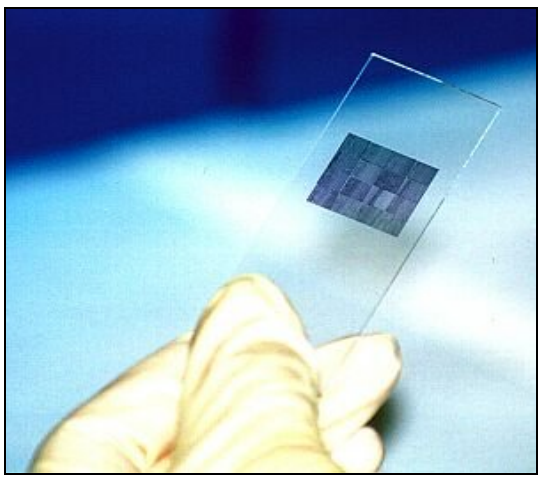

Figura 17. Chip de DNA montado sobre placa de vidro [37].

Constata-se que vidros e revestimentos produzidos pelo processo sol-gel, ao invés dos produzidos pelo processo de fusão-resfriamento, começam cada vez mais a ser explorados no campo da biotecnologia [32].

5. CONCLUSÃO

Estamos convictos de que, neste texto, não teríamos espaço para cobrir todas as modernas e potenciais aplicações dos vidros. Assim, apresentamos somente aquelas que, sob nossa óptica e arbítrio, nos parecem as mais importantes e merecedoras de destaque, tendo como norte suas aplicações em ciência e tecnologia. Foi nossa intenção mostrar que o vidro é um material que transita com grande sucesso nas mais diferentes e complexas manifestações da atividade humana.

Sem medo de errar, acreditamos que, hoje, seria praticamente impossível viver sem o concurso destes incríveis materiais produzidos pelo homem. O vidro tem sido, durante séculos, o que o torna, com suas múltiplas aplicações, uma incontestável marca do tempo e da civilização.

Finalmente, temos que concordar com uma afirmação que figura na *Encyclopédie,* do século XVIII: "*uma coisa é certa, depois dos metais, a química não fez uma descoberta tão maravilhosa e tão útil quanto a descoberta do vidro*" [38].

Exageros à parte, tal afirmação tem, até o presente, muito de verdade!

6. BIBLIOGRAFIA E NOTAS

[1] O. L. Alves, I. de F. Gimenez e I. O. Mazali, "*Vidros*", Cadernos Temáticos de Química Nova – Química de Novos Materiais, número 2, maio de 2001. Acesso pela Internet em: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao.html#acrobat.

[2] Disponível em: http://sbqensino.foco.fae.ufmg.br/caderno_novos_materiais.

[3] http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_vidros.pdf.

[4] http://www.ssco.asso.fr. Consultado em janeiro de 2006.

[5] http://www.essilorha.com/s_transitions_products.htm. Consultado em janeiro de 2006.

[6] http://www.russianarmysurplus.com/military.php?gid=42**. Consultado em dezembro de 2005.**

[7] Nota do Autor – Os óculos apresentados na Figura 4 são de fabricação russa e destinados a fins militares. Informações obtidas informalmente dão conta que os mesmos foram muito utilizados quando do desastre da usina nuclear de Chernobyl, situada a 20 Km da cidade do mesmo nome, na Ucrânia, em 1986.

[8] http://www.jitwaterjet.com/nuclear.html**. Consultado em dezembro de 2005.**

[9] H. G. Pfaender, "*Schott Guide to Glass*", Chapman and Hall, N.Y. 1996.

[10] www.vomatex.de/.../ Accessories/Hoses/hoses.html**. Consultado em novembro de 2005.**

[11] Nota do Autor – As Tabelas que figuram neste artigo, relacionadas com as aplicações dos diferentes tipos ou famílias de vidros, foram construídas através de consulta exaustiva à Web. Para tanto, foram utilizadas palavras-chave tais como *fiberglass, porous glass, glassceramics,* etc. Privilegiou-se na escolha das aplicações aquelas que, efetivamente, são produtos comerciais de uso corrente. No final do texto será apresentada uma lista de sites que poderão complementar as informações apresentadas [38] .

[12] http://www.antonine-education.co.uk/Physics_AS/Module_1/Topic_2/topic_2.htm
Consultado em dezembro de 2005.

[13] Nota do Autor - A tecnologia de fibras ópticas no Brasil teve origem na Unicamp, através de um projeto celebrado entre esta universidade e o então Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Telebrás (CPqD), Campinas, em 1974. O projeto teve trajetória bastante interessante, pois começou na Universidade, passou por um centro de pesquisa estatal, até ser licenciado para várias empresas para a fabricação e comercialização. A parceria da Unicamp com a Telebrás, no desenvolvimento de materiais para telecomunicação, praticamente se encerraram com a privatização do sistema Telebrás, ocorrida em julho de 1998. Nesse momento, do ponto de vista da fabricação de materiais, estavam bastante adiantados estudos com vidros dopados com *quantum-dots*, vidros calcogenetos - dopados ou não -, com íons de terras raras, entre outras famílias. Tais desenvolvimentos tinham como "ponto de partida" os estudos de preparação e caracterização realizados no Laboratório de Materiais Vítreos (LMV), do Instituto de Física, e no Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES), do Instituto de Química, coordenados, respectivamente, pelos professores Luís Carlos Barbosa e Oswaldo Luiz Alves. Tais

atividades puderam ser continuadas graças ao Projeto CEPID-CEPOF-FAPESP, que permitiu a constituição do Centro de Pesquisas em Óptica e Fotônica, que reúne laboratórios situados em Campinas, São Paulo e São Carlos. Consulte o site do CEPOF, em : http://www.ifi.unicamp.br/foton/index.php. Visite o Museu Virtual do Centro de Pesquisas em Óptica e Fotônica (CEPID-CEPOF-FAPESP) e saiba mais sobre fibras ópticas. Aproveite, também, para conhecer a História das Fibras Ópticas no Brasil: http://www.ifi.unicamp.br/foton/site/port/hist2.htm.

[14] R.H. Doremus, "*Glass Science*", J. Wiley and Sons, N.Y., 1994.

[15] http://www.latinvia.com.ar/productos/images/images_1/items/3323/PRAR15836G.JPG. Consultado em janeiro de 2006.

[16] http://www.onri.go.jp/Images/Optical/Polous_e.jpg. Consultado em janeiro de 2006.

[17] Nota do Autor - Um dos vidros porosos mais conhecidos é aquele denominado Vycor, produzido pela empresa americana Corning. Trata-se de um material que foi obtido por um processo de cristalização, seguido por uma etapa de lixiviação das fases cristalizadas solúveis, através do ataque com ácidos minerais e possui um volume de poros que representa cerca de 28% do volume total do material. Dentre as diferentes características do mesmo estão: grande resistência a ataques químicos, propriedades mecânicas superiores aos vidros convencionais, altas transmitâncias de luz (região do espectro visível), alta estabilidade térmica e resistência a choques térmicos. Nos poros destes vidros têm sido sintetizados e/ou incorporados materiais tais como polímeros condutores, compostos organometálicos, nanopartículas de óxidos metálicos, *quantum-dots* de semicondutores da família II-VI e materiais magnéticos. Trabalhos desenvolvidos nesta linha podem ser consultados no link: http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/publicacoes_teses/publicacoes_teses_trabalhosrev_2006.html.

[18] http://www.chgsouthampton.com/technology/chalcogenide/. Consultado em janeiro de 2006.

[19] http://www.chgsouthampton.com. Consultado em janeiro de 2006.

[20] Nota do Autor – Pesquisadores brasileiros do Instituto de Física e do Instituto de Química da Unicamp, ligados ao CEPID-CEPOF e Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IM^2C), deram importantes contribuições ao estudo de vidros dopados com CdTe, PbTe, não só do ponto de vista de sua fabricação e caracterização, como também para o estudo de suas propriedades. Alguns dos dados obtidos por estes pesquisadores fazem da publicação

"*Tellurite Glasses – Handbook –Physical Properties and Data*", editado por R.A.H. Mallawany e publicado pela editora CRC Press (EUA), em 2002. Veja mais detalhes em: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2002/lqes_news_novidades_85.html.

[21] http://www.nature.com/news/2004/040809/full/040809-2.html. Consultado em janeiro de 2006.

[22] http://www.sciencenewsforkids.org/articles/20051214/Feature1.asp. Consultado em dezembro de 2005.

[23] http://www.kerrdental.com/products/premise/technicalInfo/overview/index.cfm. Consultado em janeiro de 2006.

[24] http://www.windowstoday.co.uk/self_cleaning_glass.htm. Consultado em janeiro de 2006.

[25] http://www.pilkington.com/. Consultado em janeiro de 2006.

[26] Nota do Autor – Os vidros autolimpantes, denominados comercialmente Pilkington Active Glass, figuraram entre os "*Top 10 Nanotech Products 2005*", com o qualificativo: "casas felizes e brilhantes", dado pela Forbes Consultores (EUA) http://www.forbes.com, em publicação de 2006.

[27] http://oemagazine.com/fromTheMagazine/jun02/tutorial.html. Consultado em dezembro de 2006.

[28] Nota do Autor – As atividades de pesquisa em fibras fotônicas no Brasil estão concentradas basicamente na Universidade Estadual de Campinas e fazem parte das atividades do CEPID-CEPOF-FAPESP. Maiores informações podem ser obtidas nos seguintes links: www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/junho2005/ju293pag8b.html www.ifi.unicamp.br/foton/pcftelurito.htm e www.ifi.unicamp.br/foton/pcf.htm.

[29] http://www.solarelectricpower.org/ewebeditpro/items/O63F1810.JPG. Consultado em fevereiro de 2006.

[30] http://www.nsg.co.jp/lab/ThinFilmP1.htm. Consultado em fevereiro de 2006.

[31] http://www.sumita-opt.co.jp/en/functional.htm. Consultado em janeiro de 2006.

[32] C. G. Pantano, "Glass Surfaces: Old, New and Engineered", conferência realizada em 2003, em Seatle, www.mri.psu.edu/faculty/pantano.

[33] Conheça a Biblioteca LQES de MEMS e *Lab-num-Chip* em: http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/bibliotecas/bibliotecas_lqes_mems.html.

[34] http://www.ccmicro.rl.ac.uk/non_silicon.html. Consultado em fevereiro de 2006.

[35] M. Schema et al., "*Quantitative Monitoring of Gene Expression Patterns with a Complementary DNA Microarray*", Science, volume 270, p. 467 (1995).

[36] http://www.kostarworld.com/rnd/rnd_n01_p03a.htm. Consultado em fevereiro de 2006.

[37] www.dhgp.de/ethics/ethics02.html. Consultado em fevereiro de 2006. Animação mostrando o funcionamento de um chip de DNA pode ser vista acessando-se o link: http://www.bio.davidson.edu/Courses/genomics/chip/chipQ.html.

[38] Apud. Citado por Pascal Richet, no belo livro sobre vidros, "*L'Âge du Verre*", Editora Gallimard, 2000, (quarta capa).

[39] Informações adicionais e complementares podem ainda ser coletadas nos seguintes sites:

http://www.schott.com/english/

http://www.saint-gobain.com/fr/html/index.asp

http://www.corning.com/

http://www.agc.co.jp/english/index.html

http://www.nsg.co.jp/en/

http://www.pilkington.com/.

SOBRE O AUTOR

Oswaldo Luiz Alves. Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Pós-Doutoramento no *Laboratoire de Spectrometrie Infrarouge et Raman* (CNRS/França). Professor Titular de Química, no Instituto de Química da UNICAMP, foi o fundador e é atualmente coordenador científico do Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES). Seu interesse está centrado em Química de Sólidos e Materiais, trabalhando com vidros especiais, filmes finos, vitrocerâmicas porosas, *quantum-dots*, nanopartículas metálicas e nanotubos de carbono e inorgânicos. Possui mais de 130 trabalhos publicados e 14 patentes depositadas. É vice-coordenador do Instituto do Milênio de Materiais Complexos (IMMC-1). Em 2001, tornou-se membro titular da Academia Brasileira de Ciência e, em 2002, foi agraciado com a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Cientifico da Presidencia da República do Brasil. Em 2004 recebeu a Medalha Simão Mathias da Sociedade Brasileira de Química e,em 2005,o Prêmio Fritz Feigl do Conselho Regional de Química (4ª Região).